



TITLE:

Driving micro-scale object by a dc electric field( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Kurimura, Tomo

---

CITATION:

Kurimura, Tomo. Driving micro-scale object by a dc electric field. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19475>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2018-08-01に公開

( 続紙 1 )

京都大学	博 士（理 学）	氏名	栗村 朋
論文題目	Driving micro-scale object by a dc electric field (油中マイクロスケール物体の直流電場による駆動)		
(論文内容の要旨)			
<p>近年ナノ・マイクロメートルスケールの溶液中における駆動力生成、化学反応や流体の制御が注目を集めている。例えば、マイクロ流体デバイスを用いて化学反応をスケールダウンすれば、サンプル量の節約や検出の促進、発熱の抑制が可能になる。また、単一細胞とのサイズの整合性もよく、診断など医療への応用にもつながると期待されている。一方、人間が感じる流体现象と、ナノ・マイクロメートルスケールのそれとでは、感覚的に全く異なる。単純には粘性の効果が大きく、ゆらぎも顕著になってくる。そのためナノ・マイクロメートルスケールにおける駆動機械は、マクロな機械をそのままサイズダウンする訳にはいかない。第1章では上に述べたような関連研究の動向について述べている。</p> <p>続く章では、cmスケールの油中水滴が直流電場下で示す往復運動が記述されている。液滴は電圧の大きさに依存してその運動の様子が変化することや、電場下におかれた液滴は融合・分裂を起こすことが報告されており、これら先行研究に関して非線形振動の基礎的事項とともにまとめられている。ここで、液滴が振動を起こす条件に関しては定量的に調べられてこなかったことが確認されている。第3章ではこの液滴運動のスケール依存性を実験によって調べ、この実験結果を説明する数理モデルを構築している。このモデルから液滴の振動は非線形振動の一種であるリミットサイクル振動であると推察している。一般にリミットサイクル振動は安定軌道をもつため外乱に対しても安定であると言える。さらに、液滴が振動を始める閾値電圧以下の電圧において、ノイズを加えることにより液滴の振動が誘起されることがモデルより予想されている。この現象はcoherence resonanceと呼ばれるものと同じものである。第4章では、電極電圧にガウシアンホワイトノイズを加算した時に、振動相が拡張されることを実験によって検証しており、coherence resonanceを液滴の振動条件の拡張と安定化に利用できる事が示されている。</p> <p>第5章では液滴の代わりにプラスチックビーズを用いた場合、電極間において回転運動を示すことが記述されている。この振る舞いは水滴とは異なるものであるが、この原因を油中に界面活性剤のミセルが存在するときミセルの帯電によって起こる流れであると論じ、数値計算を行って現象を再現している。</p> <p>以上の結果を総括して、マイクロスケール油中水滴の直流電場による駆動は、外乱に強く、仮に閾値電圧以下でもノイズを加えることによって振動が誘起できるという性質をもつということが結論づけられている。また、さらなるサイズダウンとマイクロ流体デバイスなどとの組み合わせによって、既存の仕組みとは異なるマイクロメートルサイズの駆動機械に応用できると論じている。これら、今後の課題・発展性に関しては第6章にまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、マイクロメートルサイズのアクチュエータとして、油中水滴が電極間で並進振動する現象に着目している。従来サブミリ～センチメートルスケールで実施されていた電極間の物体の並進振動を、液中環境にてスケールダウンし、ノイズやサイズ依存性に対する振動状態の変化などについて主に実験的に研究したものであると言える。

まず研究分野の一般的な知見をおさらいする形で必要十分なレビューが行われており、実験系をスケールダウンする事の意義や、運動に関わる主要な要素の変化などが指摘されている。次に、実際に数十マイクロメートル程度の領域で実験を行い液滴の運動を観察した結果を紹介している。運動に関する数理モデルを作成し、運動のスケール依存性を議論するとともに、その性質から液滴の振動状態は外乱に強く、ノイズに対しては共鳴現象を起こして実質的振動領域を拡張されるという可能性に気が付いた事などが記述されており、オリジナルな着想がどの様に出て来たかが分かる。

第4章ではノイズを付加した場合の運動を実験によって確認、仮説の検証を行っている。ミクロな動作機械、いわゆるマイクロマシンの類は様々なものがこれまでも提案されているが、外乱やゆらぎ等に対する安定性はあまり議論されてこなかった。この章では、本論文が提案するマイクロメートルスケールでの液滴振動が、リミットサイクルでありcoherence resonanceの性質を持つことを明らかにした。Coherence resonanceという現象自体は数値計算によって最初に示され、実験においては化学反応や電気回路などで調べられてきたが、リミットサイクルと合わせて実空間での物体の規則運動に応用し、更にノイズ強度に対する共鳴条件を実験的に測定したものは他に例が無い。類似のものとしてフィードバックが掛かるポテンシャルの中でのコロイド粒子の運動が報告されているのみである。直流電場下における液滴振動はマイクロ流体デバイスなどとの親和性もよく、今後の発展が期待できる。この様に応用面でも重要な成果であると言えるだろう。

第5章においては、水滴の代わりにビーズを用いた場合の実験と数値計算を行っている。実験状況としては、油とプラスチックビーズの間の誘電率差が小さく、誘電泳動の寄与を無視する近似が可能になる筈である。一方、ビーズに掛かる静電場の影響の大きさは詳しく論じられていないが、実験の挙動はこちらも無視できる事を示唆している。本論文では上記の様な考察は省かれているが、別の視点から妥当な仮説へと論を展開しており、油の中に存在する界面活性剤ミセルがキャリアとなり、直流電圧に対してイオン液体の様に電気対流を誘起した流れを議論している。この電場による流体現象は電磁流体力学 (EHD) として知られているが、ミクロな物体の輸送に使う発想は無く、興味深いものである。

以上の様に本論文はマイクロ・ナノメートル領域での運動機械の作製に向けて新しい発想で動作原理を提示しているだけでなく、リミットサイクルやcoherence resonance 等の新しい実験系を実現したという点も重要な成果として認められる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年12月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

